

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra informatiky**

**Absolvování individuální odborné praxe**  
**Individual Professional Practice in the Company**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra informatiky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Filip Sikora**

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Absolvování individuální odborné praxe  
Individual Professional Practice in the Company

Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: ELCOM, a.s., divize Virtuální instrumentace
2. Struktura závěrečné zprávy:
  - a) Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta
  - b) Seznam úkolů zadaných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti
  - c) Zvolený postup řešení zadaných úkolů
  - d) Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe
  - e) Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe
  - f) Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů konzultanta, který vedl odbornou praxi studenta.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Peter Chovanec**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Miroslav Rumpel

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 2. 5. 2014

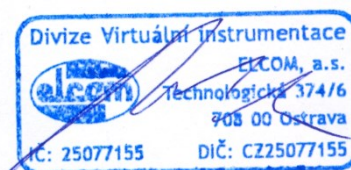
  
.....

Filip Sikora

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

V Ostravě dne 2. 5. 2014



Ing. Miroslav Rumpel

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce pojednává o mnou vykonané práci a mých úkolech na projektech realizovaných firmou ELCOM, a.s. divize Virtuální Instrumentace. Cílem mé práce byl kompletní návrh a implementace SW pro dvě platformy automatizovaných pracovišť určených k ověřování funkce a kalibraci bezkontaktních indukčních senzorů. Obsahem práce bylo, kromě samotného programování, komunikace s týmem lidí ve firmě, kteří se na projektu podíleli, komunikace se zákazníkem, výjezdy na služební cesty až po samotné předání zařízení v zahraničí zákazníkovi a podílení se na zaškolení zákazníka. Aplikace samotná, o které tato práce pojednává, byla vyvíjena ve vývojovém prostředí firmy National Instruments LabWindows<sup>TM</sup>/CVI<sup>TM</sup>.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

ELCOM, a.s.; National Instruments; CVI; ANSI C; Tester; Virtuální instrumentace; Řízení a automatizace; Měření a sběr dat

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis documents tasks and work I performed on projects realized by the company ELCOM, a.s., specifically its division of Virtual Instrumentation. The goal of my work was complete project and implementation of the SW for two platforms of automated workstations designed to check and calibrate contactless inductive sensors. Apart from programming, scope of my work included communication with the team of people in the company, who participated in this project, also communication with the customer, going to business trips and finally handing over of the machines to the foreign customer and participating in customer's training. The application described in this bachelor thesis was developed using National Instrument's LabWindows<sup>TM</sup>/CVI<sup>TM</sup>.

## **KEY WORDS**

ELCOM, a.s.; National Instruments; CVI; ANSI C; Tester; Virtual Instrumentation; Control and automation; Measuring and data acquisition

## ZKRATKY A SYMBOLY

Zkratka	Význam	Český význam
CVI	C for Virtual Instrumentation	C pro virtuální instrumentaci
DLL	Dynamic Linked Library	Dynamicky linkovaná knihovna
HW	Hardware	Hardware
NI	National Instruments	National Instruments
SSI	Synchronous Serial Interface	Synchronní sériové rozhraní
SW	Software	Software
TTL	Transistor-transistor logic	Tranzistorově-tranzistorová logika
XML	eXtensible Markup Language	Rozšiřitelný značkovací jazyk

Symbol	Význam	Jednotka
$\alpha_{\text{roz}}$	úhlové rozlišení	[°]
$\omega$	úhlová rychlost	[rad·s <sup>-1</sup> ]

# OBSAH

1	Úvod .....	1
1.1	Představení firmy ELCOM, a.s. ....	1
1.2	Odborné zaměření firmy.....	1
1.2.1	Divize Realizace a inženýring .....	1
1.2.2	Divize Pohony .....	2
1.2.3	Divize Aplikovaná elektronika .....	2
1.2.4	Divize Virtuální instrumentace.....	2
1.2.5	Divize Výroba .....	2
1.3	Pracovní zařazení .....	2
2	Seznam úkolů .....	3
3	Popis práce na vývoji řídicího software .....	4
3.1	Blokové schéma zařízení .....	4
3.2	Použité technologie .....	5
3.2.1	Řídicí PC .....	5
3.2.2	Multifunkční karty NI PCIe-635x .....	5
3.2.3	Absolutní enkodér Kübler F36x3 .....	6
3.2.4	Pohon natáčecího mechanismu.....	7
3.2.5	Čtečky 2D čárových kódů Cognex DataMan .....	9
3.3	Specifikace a popis funkce .....	9
3.4	Použité vývojové prostředky .....	12
3.5	Vlastní aplikace .....	12
3.5.1	Rozvrstvení.....	12
3.5.2	Proces kalibrace a náměrů .....	16
3.5.3	Komunikace s Procesní jednotkou .....	16
3.5.4	Výpočet chybových parametrů .....	16
3.5.5	Log soubory.....	18
4	Odborné znalosti nabyté studiem .....	19
4.1	Využité odborné znalosti.....	19
4.2	Scházející odborné znalosti .....	19
5	Zhodnocení praxe a závěr.....	20

# 1 ÚVOD

## 1.1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY ELCOM, A.S.

Firma ELCOM byla založena v roce 1990 jako společnost s ručením omezeným. Její zakladatelé byli Ing. Jiří Holoubek a Ing. Vladimír Korenc.

Původní záměr obou inženýrů byl vytvořit Inženýrské a konzultační středisko v oboru silnoproudé elektrotechniky, specializované na oblast kompenzace jalového výkonu, elektromagnetické kompatibility a optimalizaci spotřeby elektřiny. Vysoká poptávka průmyslu po kvalitních službách a hlavně po výrobcích v tomto oboru, vytvořily základ pro postupné rozšíření společnosti o další oblasti.

V roce 1992 byly aktivity společnosti rozšířeny o oblast střídavých regulovaných pohonů a speciálních elektromotorů. Dále v roce 1992 společnost začala provádět i vlastní elektromontáže a v tomtéž roce zahájila i vlastní dílenskou výrobu v pronajatých prostorách v podniku MEZ Nedvědice. O rok později pak byla ve společnosti vytvořena i projektová kancelář na nově zřízeném pracovišti v Ostravě. V té době již měla společnost pokryta čtyři místa na mapě České republiky a to v Praze, Brně, Nedvědicích a Ostravě. Počet zaměstnanců a finanční obrát společnosti se každým rokem násobil. V roce 1996 byly vytvořeny podmínky na transformaci původní společnosti s ručením omezeným na akciovou společnost.

Úspěšný projekt analyzátoru energetických rušení BK500 byl základem na spolupráci s katedrou měření na TU VŠB FEI v Ostravě. Tato spolupráce vyústila v roce 1997 k založení divize Virtuální instrumentace, kde se projekt BK úspěšně rozvíjí dodnes.

V roce 1998 byla zakoupena továrna ve městě Bystřice nad Pernštejnem a byla sem soustředěna kompletní elektrotechnická výroba společnosti.

V roce 2000 se struktura korporace ustálila na pěti divizích, ve kterých pracuje kolem sto padesáti zaměstnanců.

V současné době má společnost i zahraniční pracoviště ve Spojených Arabských Emirátech, Číně a Hong Kongu [1].

## 1.2 ODBORNÉ ZAMĚŘENÍ FIRMY

Firma ELCOM, a.s. podniká v oblasti silnoproudé elektrotechniky, elektroniky, měřicí a testovací techniky. Organizačně je rozdělena do pěti divizí [2].

### 1.2.1 DIVIZE REALIZACE A INŽENÝRINK

Divize Realizace a inženýrink se sídlem v Brně a Ostravě se věnuje dodávkám rozvodných a kompenzačních zařízení nízkého a vysokého napětí s důrazem na zajištění elektromagnetické kompatibility celého výkonového systému [2].



### **1.2.2 DIVIZE POHONY**

Divize Pohony se sídlem v Praze je jednou z nejstarších divizí společnosti ELCOM, a.s. Svoji činnost v oblasti elektrických pohonů a jejich komponent rozvíjí již od roku 1992, se zaměřením na pohony v prostředí s nebezpečím výbuchu, energetice, vodárnách, těžebním průmyslu, atd. Je systémovým integrátorem firmy Siemens pro dodávky motorů do prostředí s nebezpečím výbuchu (dříve motorů firmy Loher, před jejím začleněním do skupiny Siemens) [2].

### **1.2.3 DIVIZE APLIKOVANÁ ELEKTRONIKA**

Divize Aplikované elektroniky se sídlem v Praze a v Brně je zaměřena na výzkum, vývoj a výrobu speciálních výkonových elektronických zařízení, zejména speciálních napájecích zdrojů pro České dráhy, a.s. a městskou hromadnou dopravu [2].

### **1.2.4 DIVIZE VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE**

Divize Virtuální instrumentace působí od roku 1997 ve Vědeckotechnologickém parku Ostrava v těsném sousedství areálu VŠB - Technické univerzity Ostrava [2]. Tato divize se dále dělí na vnitřní oddělení:

- automatizované testery,
- kamerové systémy,
- automatizované zkušebny,
- měření kvality energie,
- konstrukce speciální elektroniky,
- strojní konstrukce,
- softwarové aplikace,
- vývoj nových technologií a marketing.

### **1.2.5 DIVIZE VÝROBA**

Divize Výroba se sídlem v Bystřici nad Pernštejnem slouží jako výrobní závod pro ostatní divize a dále pak jako materiálně-logistická centrála firmy [2].

## **1.3 PRACOVNÍ ZAŘAZENÍ**

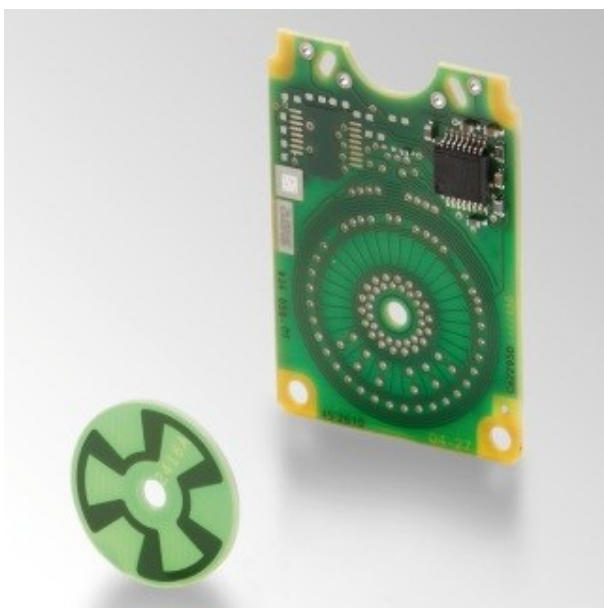
Ve firmě ELCOM, a.s. mi byla nabídnuta možnost spolupráce v řešitelském týmu na projektu, o kterém pojednává tato bakalářská práce. Cílem mé práce byl kompletní návrh a implementace SW pro dvě platformy automatizovaných pracovišť určených k ověřování funkce a kalibraci bezkontaktních indukčních senzorů. Práce na tomto projektu započala začátkem srpna 2013 a skončila koncem ledna 2014, kdy jsem byl účasten finálního předání zařízení u zahraničního zákazníka, které proběhlo ke spokojenosti obou zúčastněných stran.

## 2 SEZNAM ÚKOLŮ

Životní cyklus jakéhokoli projektu ve firmě ELCOM, a.s. je: poptávka zákazníka – nabídka firmy – přijetí objednávky – výběr řešitelského týmu – realizace projektu – předání díla zákazníkovi.

Na počátku byl vybrán tým specialistů z různých oddělení firmy, čítající vedoucího projektu, specialisty ze strojního a elektro konstrukčního oddělení a programátora. Tito lidé spolu poté proberou všechny možnosti konstrukce takového zařízení a to z pohledů hardwarové výbavy, zapojení, použitých mechanických a elektronických součástek a samozřejmě návrhu SW.

Po sestavení týmu lidí, kteří se na projektu budou podílet, započal každý člen svou práci. Mou prací, jakožto programátora, bylo vyzkoušet jednotlivé dostupné hardwarové prostředky nanečisto s hardwarem dostupným na firmě velmi podobným tomu, který bude na zařízení. Takto jsem učinil hlavně proto, že zařízení samotná byly teprve ve fázi konstrukce a já si potřeboval vyzkoušet a osvojit vlastnosti a chování pro mne doposud neznámých prostředků. Během této doby jsem již započal práci na tzv. servisním panelu aplikace, který slouží k odlaďování a zjišťování možných problémů se zařízením. Než jsem vše odzkoušel, konstruktéři již měli návrh zařízení po elektromechanické stránce hotový a já mohl začít pracovat na algoritmu samotného měření, kalibrace a testování. Všechny použité technologie a postupy jsou popsány detailně níže.



*Obrázek 1: Bezkontaktní indukční senzor polohy*

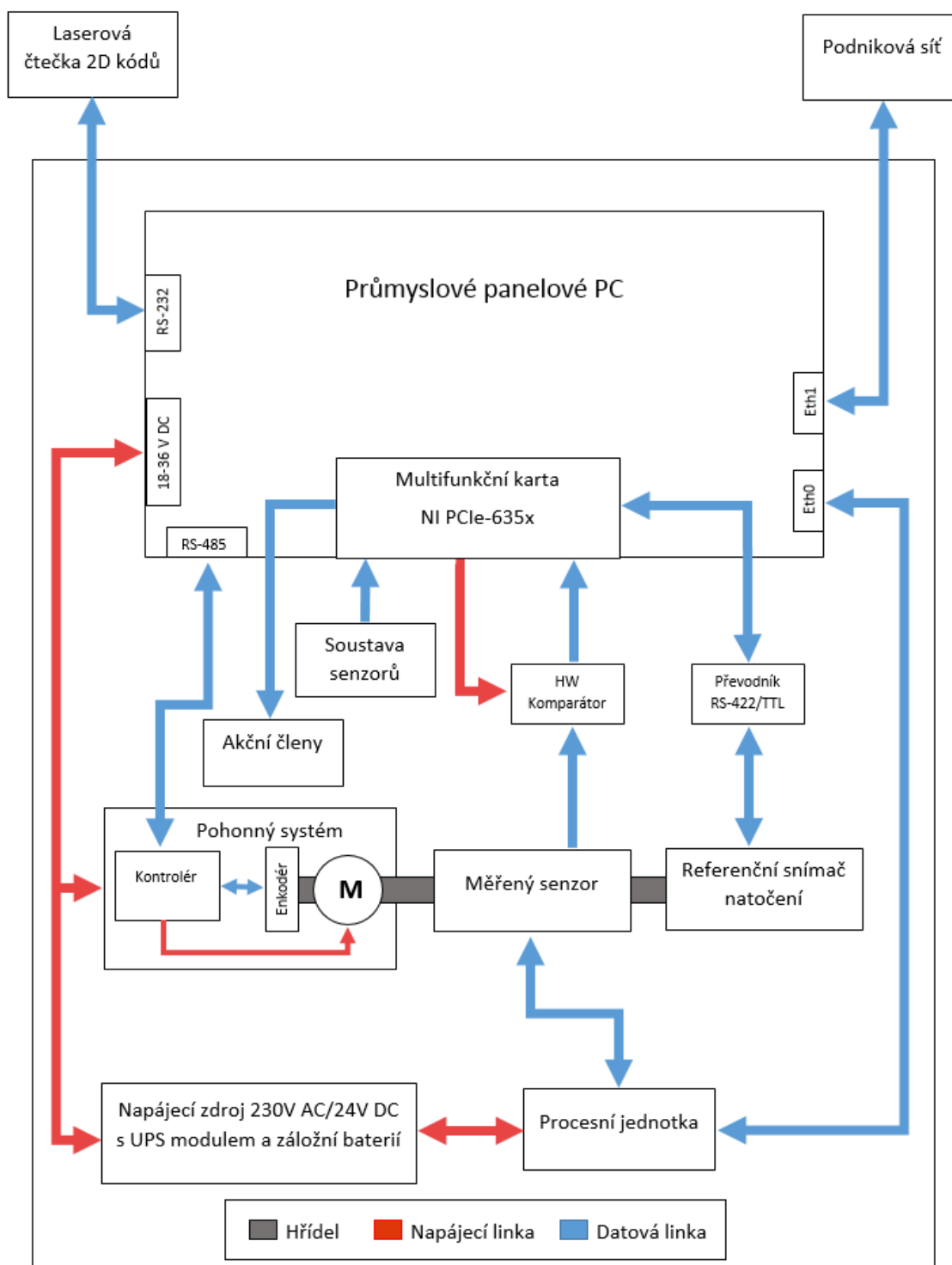


*Obrázek 2: Pohled na výsledné zařízení*

### 3 POPIS PRÁCE NA VÝVOJI ŘÍDÍCÍHO SOFTWARE

V následujících kapitolách důkladněji popíšu a rozeberu stěžejní části celého systému, zvolené technologie i postupy řešení.

#### 3.1 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ



Obrázek 3: Blokové schéma zařízení

## 3.2 POUŽITÉ TECHNOLOGIE

Tato kapitola pojednává o použitých technologiích a jejich možnostech využitých k dosažení kvalitního a spolehlivého výsledného zařízení.

### 3.2.1 ŘÍDÍCÍ PC

Jako řídicí PC byl zvolen průmyslový panelový PC modelové řady PPC-5150A v následující konfiguraci [3]:

- Procesor Intel® Pentium® E2160;
- 1GB DDR2 paměti RAM;
- 15“ displej s rozlišením 1024x768 pixelů a rezistivní dotykovou vrstvou;
- dvě síťové karty;
- 4 x USB ve verzi 2.0;
- 4 x RS-232 porty;
- jeden port schopný pracovat v režimu RS-232/422/485 dle nastavení v BIOSu;
- 60GB SSD pevný disk.

### 3.2.2 MULTIFUNKČNÍ KARTY NI PCIe-635x

Firma National Instruments je světovou špičkou v poskytování hardware a software pro automatizaci a sběr dat. Firma ELCOM, a.s. je jedním z předních partnerů firmy NI, proto byly vybrány karty této společnosti. Tyto karty se řadí do série „X“ a nahrazují starší řadu „M“, oproti které poskytují více funkcí. Jedním z rozdílů je například měření frekvence a střídý obdélníkového signálu na jediném vstupu čítače, na rozdíl od řady „M“, kde bylo potřeba použít čítače dva. Karta se zasouvá do PCI Express x1 slotu, ale existuje i USB a PXI varianta.

Specifikace karet NI PCIe-6351 [4]/NI PCIe-6353 [5]:

- 16/32 analogových vstupů, 16-ti bitové rozlišení,  $\pm 10$  V;
- 2/4 analogové výstupy, 16-ti bitové rozlišení,  $\pm 10$  V;
- 24/48 digitálních vstupně-výstupních linek, 8/32 z nich hardwarově časovaných až do 10 MHz, kompatibilní s TTL logikou;
- 4 čítače/časovače s rozlišením 32 bitů, kompatibilní s TTL logikou.

V tomto konkrétním projektu byly využity:

- Analogové vstupy pro měření elektrických a neelektrických veličin.
- Analogový výstup k nastavení rozhodovací úrovně na HW komparátoru.
- Hardwarově časované vstupy a výstupy pro hodinový a datový signál referenčního senzoru natočení využívající SSI rozhraní.
- Zbylé digitální vstupně-výstupní linky jednotlivých portů pro akční členy, senzory, pomocné ovládací a indikační prvky v podobě tlačítek a kontrolky na ovládacím panelu stroje.

- 1 čítač/časovač pro samotné měření výstupního signálu senzoru a na jednom ze zařízení i jako generátor obdélníkového signálu pro řídicí jednotku krokového motoru.



Obrázek 4: Multifunkční karta NI PCIe-6351

### 3.2.3 ABSOLUTNÍ ENKODÉR KÜBLER F36x3

Pro přesné a rychlé snímání referenční polohy natočení byl využit absolutní enkodér značky Kübler verze F36x3, s celkovým rozlišením 29 bitů, z toho 17 bitů na jednu otáčku a 12 bitů na počet otočení [6]. Verze použitá konkrétně na tomto projektu využívá rozhraní SSI a binární kódování, dělají se však i verze s rozhraním BiSS nebo s Grayovým kódováním.

SSI využívá fyzické vrstvy standardu RS-422 [6], tzn. využití rozdílového signálu na dvou linkách pro určení logické 0 a 1. V konstrukci zařízení tak musel být použit přizpůsobovací modul pro převod hodinového signálu generovaného kartou z TTL logiky na standard fyzické vrstvy RS-422 a zpětně.

Přesnost enkodéru je dána počtem bitů na jednu otáčku, v tomto případě 17 bitů. Úhlové rozlišení spočítáme takto:

$$\alpha_{roz} = \frac{360^\circ}{2^n}$$

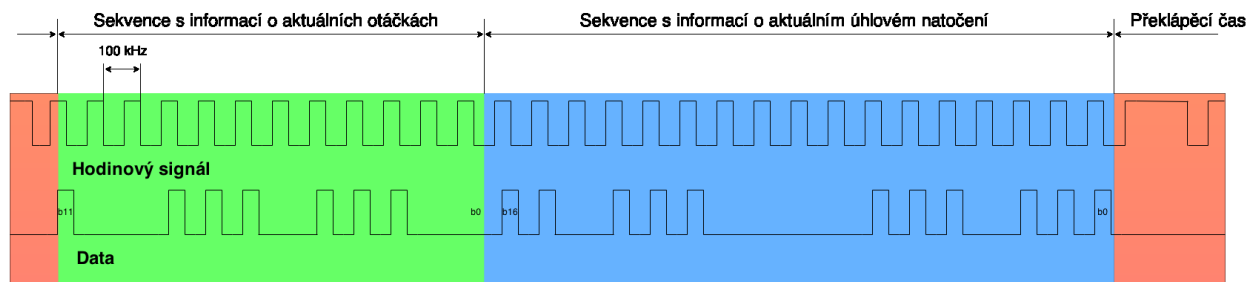
$\alpha_{roz}$  rozlišení jednoho kroku enkodéru [°]

n počet bitů na otáčku

Po dosazení vyjde  $\alpha_{roz} \doteq 0,0027^\circ$ .

Data jsou z enkodéru přenášena v bitovém formátu. Data jsou připravená se sestupnou hranou hodinového signálu, od MSB po LSB. První sestupná hrana, kterou je konec „překlápěcího času“, se ignoruje. Jako první přichází 12-ti bitová informace o počtu otáček (vyznačeno světlou zelenou v obrázku 5), po ní 17-ti bitová informace o aktuálním natočení v dané otáčce (vyznačeno světle modrou v obrázku 5). Neméně důležitá je oblast vyznačena červenou barvou, jedná se o tzv. „monoflop time“ (překlápěcí čas). Tento čas je zapotřebí k tomu, aby se enkodér připravil pro vyslání nové informace. Je

definován jako minimálně 15  $\mu\text{s}$  [6], kdy je hodinový signál v úrovni logická 1. Pokud by tento čas nebyl dodržen, enkodér by vysílal pořád jednu a tu samou polohu nehlédě na aktuálním natočení.



Obrázek 5: Jeden datový paket z SSI enkodéru v TTL logice

### 3.2.4 POHON NATÁČECÍHO MECHANISMU

Pohon natáčecích mechanismů je místo, kde se od sebe obě zařízení podstatněji liší. Když jde testovaný výrobek do prvního zařízení, je v daném okamžiku ve fázi polotovaru, kdy na sobě má integrovanou pohonnou jednotku ve formě krokového motoru. Ta však nemá dostatečný výkon k tomu, aby byla schopna pohybovat celou mechanickou soustavou. Pro daný účel tak musí být použit externí servo motor. Na druhém zařízení se kalibruje jiná část téhož výrobku, která již však má svou pohonnou jednotku dostatečně výkonnou, tudíž může být sama použita k pohonu celé soustavy.

#### 3.2.4.1 FASTECH EZI-SERVO-PR-56M-C

Servo motory EZi firmy FASTECH používají vlastní nezávislý kontrolér, se kterým lze z nadřazeného systému komunikovat pomocí RS-485, kterým byl v našem případě průmyslový panelový PC. Tento kontrolér tvoří společně s inkrementálním enkodérem, zabudovaným na hřídeli motoru, kompaktní sestavu servo pohonu. Kontrolér zajišťuje mimo jiné aktuální rychlost, pozici a cílovou pozici. Regulační smyčka zaručuje, že se motor natočí do takové polohy, která byla požadována. Pokud z nějakého důvodu motor dojet nemůže (např. porucha, přetížení, mechanická překážka aj.), kontrolér pošle do nadřazeného systému informaci o problému.

Tento konkrétní model má rozlišení svého vlastního enkodéru 32 000 pulzů na otáčku [7]. Z této informace můžeme, stejně jako v případě absolutního enkodéru, spočítat přesnost polohování motoru.

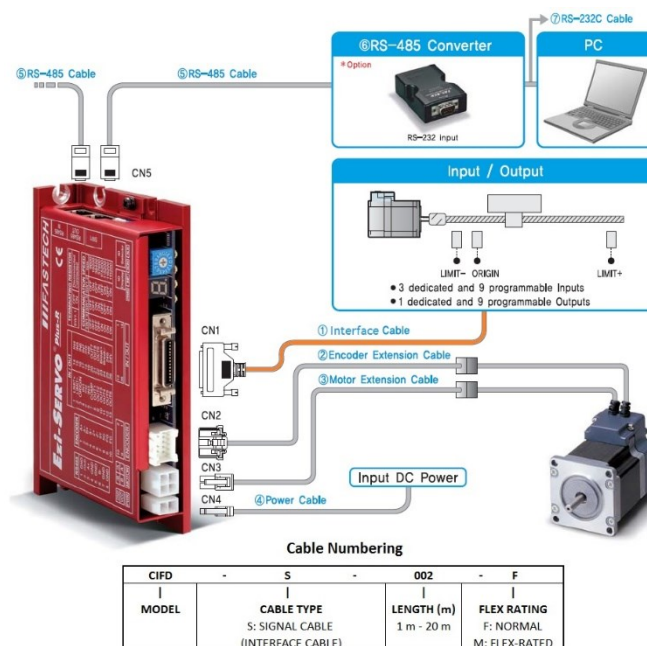
$$\alpha_{\text{roz}} = 0,01125^\circ$$

Motor a jeho zpětnovazební regulace má tedy o řád nižší přesnost než absolutní enkodér, nicméně je to stále o řád přesnější, než bylo požadováno zákazníkem.

Kontrolér umožňuje dvě hlavní možnosti ovládání servo motoru:

- přímé ovládání dodanou DLL knihovnou;
- ovládání poziční tabulkou.

V projektu bylo použito přímé ovládání DLL knihovnou.



Obrázek 6: Fastech EZi Servo

### 3.2.4.2 MICROCON SD20x

Jedná se o jednoduchý výkonový stupeň pro napájení krokových motorů s možností mikrokrokování. Má pouze 3 vstupy [8]:

- Enable - logickým signálem připojuje nebo odpojuje napájení krokového motoru.
- Směr - logickým signálem určuje směr otáčení krokového motoru.
- Pulsy – každá perioda obdélníkového signálu vyslaná na tento vstup provede jeden mikrokrok, dle nastaveného dělení kroku ve směru daném vstupem "Směr".

Pro ovládání vstupů "Enable" a "Směr" byly využity digitální výstupy multifunkční karty, pro obdélníkový signál pro vstup "Pulsy" bylo využito možností čítače/časovače fungovat jako generátor obdélníkového signálu s definovanou frekvencí. Touto frekvencí se určuje, jak rychle se má motor pohybovat. S každou periodou signálu se provede jeden mikrokrok, dle nastaveného dělení kroku.



Obrázek 7: Microcon SD20x



### 3.2.5 ČTEČKY 2D ČÁROVÝCH KÓDŮ COGNEX DATAMAN

Každý testovaný senzor natočení, který projde výrobou, má na sobě unikátní výrobní číslo ve formě 2D čárového kódu a jelikož zákazník požadoval evidenci a archivaci vyráběných senzorů, bylo nutné tyto 2D kódy číst, poslat dotaz na podnikovou databázi, zda je tento senzor v pořádku a správný pro zařízení. Po ukončení procesu kalibrace a ověření bylo zase zapotřebí uložit výsledné parametry senzoru do databáze. Toto bylo požadováno hlavně z důvodu, že zařízení, o kterých tato práce pojednává, jsou součástí výrobní linky, která má definovaný proces výroby a nesmí se tak stát, aby testovaný senzor, který byl označen jako nevyhovující na některém z předcházejících pracovišť, vstoupil zpět do výrobního procesu.

Pro obě zařízení byly použity čtečky od renomované firmy Cognex, připojené k rozhraní RS-232. Zařízení se lišily v použitých verzích čteček, na jednom to byla ruční čtečka Cognex DataMan® 8500 a na druhém fixní čtečka Cognex DataMan® 50. Nicméně čtečky se od sebe lišily pouze tvarem, práce s nimi byla totožná.



Obrázek 8: Cognex DataMan® 8500

## 3.3 SPECIFIKACE A POPIS FUNKCE

Tento projekt, stejně jako každý jiný, musí samozřejmě splňovat zadaná kritéria zákazníka. Zkrácený výpis nejdůležitějších kritérií je vypsán v bodech níže.

- Výstupem testovaného senzoru je obdélníkový signál konstantní frekvence kompatibilní s TTL logikou, polohu natočení udává střída signálu.
- Každá perioda signálu musí být zpracována separátně v reálném čase, přičemž se nepovoluje průměrování, ani vynechání žádné periody.
- S každou periodou výstupního signálu musí být synchronně získána absolutní pozice z nezávislého referenčního snímače natočení a přiřazena tomuto vzorku signálu.
- Zařízení musí být schopno změřit napětí a proud spotřebováváný výrobkem po kalibraci.
- Chyba získané informace z referenčního snímače polohy musí být v mezích, jež udává specifikace.

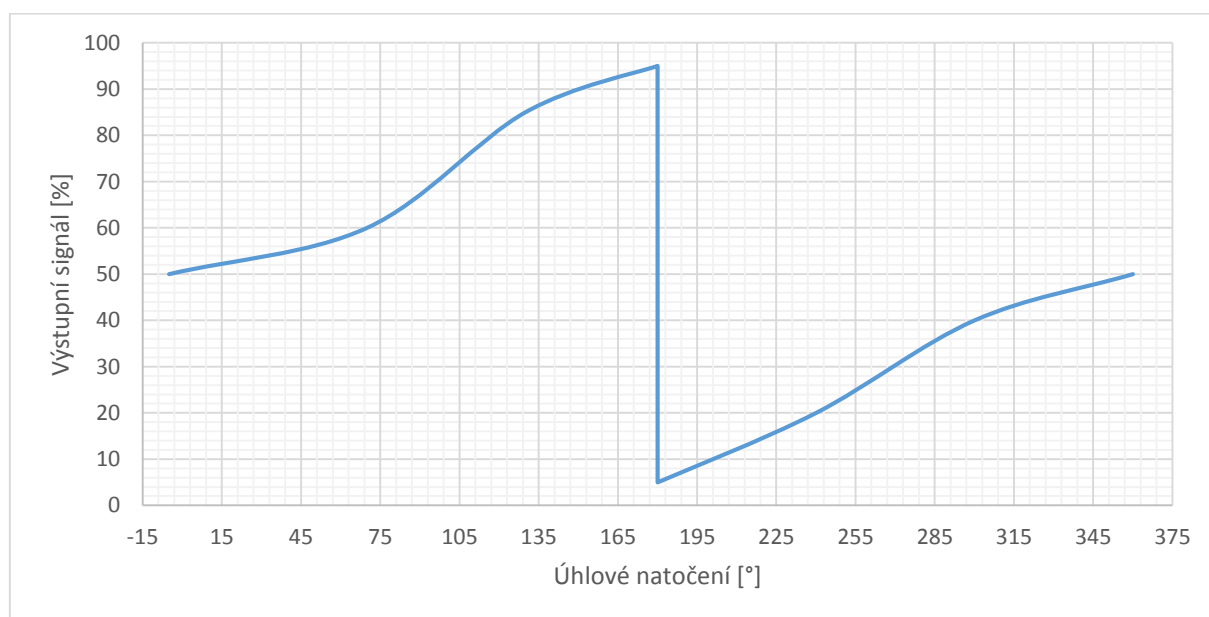


Funkční požadavky byly specifikovány následovně:

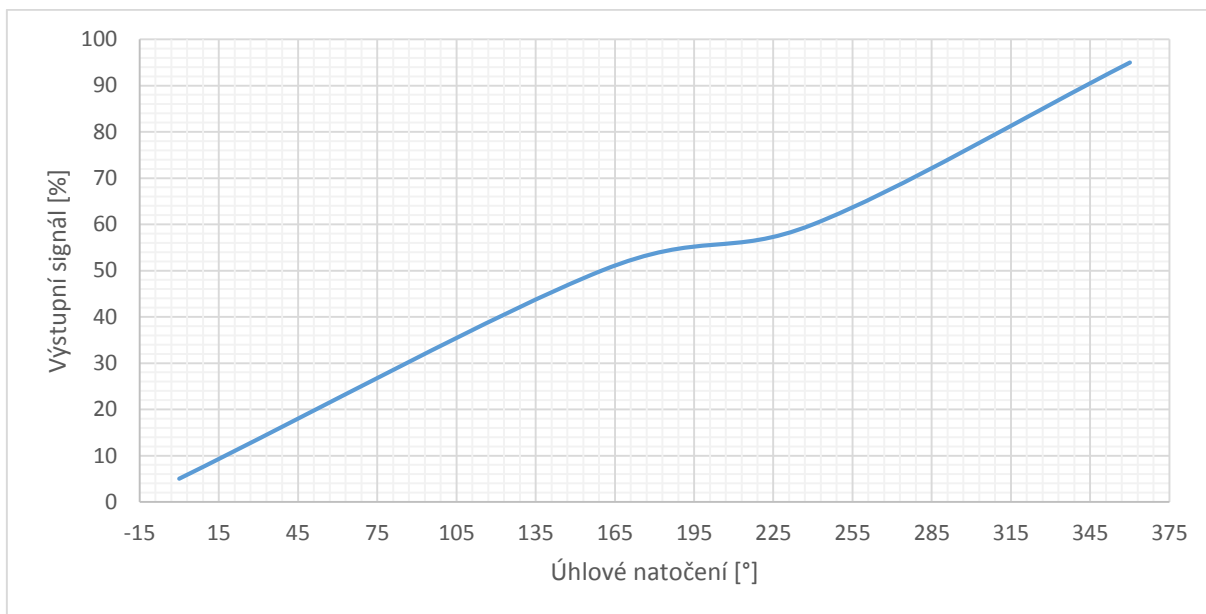
- Obsluha vloží produkt do zařízení a ten bude automaticky upnut pneumatickými upínkami.
- Laserovou čtečkou 2D čárových kódů je naskenováno výrobní číslo senzoru.
- Sériové číslo senzoru je ověřeno v podnikové databázi.
- Obsluha opustí nebezpečný prostor hlídáný optickou závorou nebo zavře bezpečnostní kryt a spustí proces kalibrace.
- Automatizovaně se provede první náměr konstantní rychlostí, data jsou poslána do procesní jednotky, která upraví data dle algoritmu výrobce senzoru, čímž se korigují nelinearity, ofsety a zesílení. Tento proces se z důvodu lepších výsledků opakuje ještě jednou.
- Třetí náměr se analyzuje na odchylky od ideálního signálu a spočítají se minimální a maximální hodnoty pro chyby signálu, ty jsou poté zkontrolovány, zda se vešly do specifikovaných mezí.
- Procesní jednotka zapíše vypočtené konstanty do EEPROM paměti čipu na senzoru.
- Změří se elektrické parametry sensorové elektroniky, tj. napájecí napětí a odběr proudu.
- Proběhne poslední měření, výstupní signál je naposledy analyzován a kontroluje se, zda naprogramování čipu proběhlo v pořádku.
- Do čipu je zapsán tzv. „LOCK“ bit, tzn. čip je nyní plně naprogramován a uzamčen, data v něm již nelze přepsat, ani změnit.
- Výsledky jsou zaslány do podnikové databáze pro archivaci.
- Obsluha odebere hotový produkt.

Pokud během kteréhokoliv bodu nastane jakákoliv chyba, proces je ukončen. Maximální počet opakování procesů s jedním a tím samým senzorem je 2. Celý proces od založení produktu po odebrání trvá méně než 30 sekund.

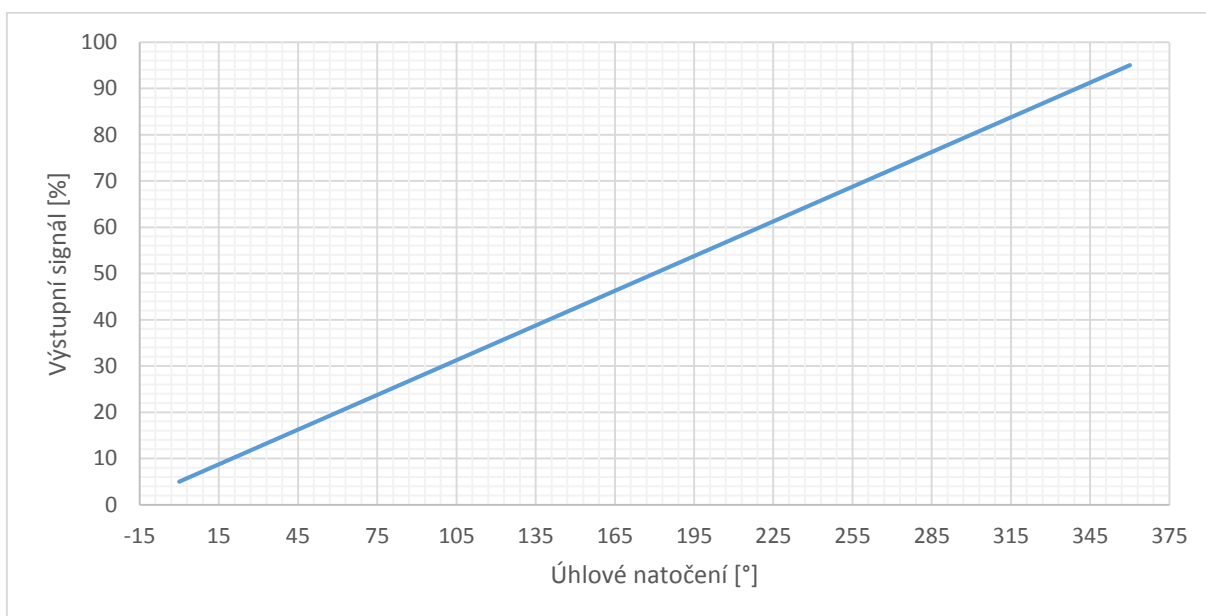
Následující obrázky demonstrují průběh kalibrace graficky na křivce výstupního signálu vůči úhlovému natočení.



Obrázek 9: Příklad výstupního signálu po prvním náměru



Obrázek 10: Příklad výstupního signálu po druhém náměru



Obrázek 11: Příklad výstupního signálu po třetím náměru a zároveň optimální výstupní signál

Obrázek 9: ukazuje možnou podobu signálu po prvním náměru a optimalizaci, je zde vidět velké zvlnění a nelinearita signálu, kdy se signál kolem 180° úhlového natočení láme.

Obrázek 10: ukazuje možnou podobu signálu po druhém náměru a optimalizaci, jak můžeme vidět, signál byl posunut a nelinearita se zde již neobjevuje, nicméně signál je stále dosti zvlněný.

Obrázek 11: ukazuje možnou podobu signálu po třetím náměru a optimalizaci, výstupní signál je bezchybný.

## 3.4 POUŽITÉ VÝVOJOVÉ PROSTŘEDKY

Jako vývojové prostředí bylo zvoleno LabWindows™/CVI™ od firmy National Instruments ve verzi 2012 SP1. Programovacím jazykem v tomto prostředí je ANSI C. Vývojové prostředí v sobě integruje nepřeberné množství knihoven pro zpracování, analýzu a sběr dat. Má integrovaný návrhář uživatelského rozhraní a hlavně integruje knihovny pro komunikaci a ovládání vlastních multifunkčních karet, tzv. DAQmx. Možnou alternativou by byl vývoj v grafickém programovacím prostředí LabView, také od National Instruments. S ohledem na mé znalosti jazyka C a jemu podobných bylo zvoleno CVI™. Jako hardwarová platforma byly zvoleny průmyslové panelové počítače s nainstalovanými Microsoft Windows 7 ve verzi Professional. Pro úlohy měření a řízení byly v těchto počítačích osazeny multifunkční karty od firmy National Instruments, konkrétně NI PCIe-6351 pro jedno zařízení a NI PCIe-6353 pro druhé zařízení.



Obrázek 12: Vývojové prostředí LabWindows™/CVI™

## 3.5 VLASTNÍ APLIKACE

V této kapitole se podrobněji zaměřím na vlastní řídicí aplikaci, její vývoj a možnosti. Jelikož byl zákazník ze zahraničí, aplikace má všechny prvky uživatelského rozhraní popsány v angličtině. Zvolená koncepce SW aplikace umožňuje překlad do libovolného jazyka a to přeložením lokalizačního XML souboru.

### 3.5.1 ROZVRSTVENÍ

Aplikaci můžeme rozdělit do tří základních vrstev:

- uživatelské rozhraní,
- business logika,
- vstupně výstupní rozhraní I/O.

Business logiku, jakožto jádro aplikace, potom můžeme rozdělit na 2 podvrstvy: servisní a automatický režim.

### 3.5.1.1 SERVISNÍ REŽIM

Sestává z jednotlivých elementárních úkonů aplikace (ovládání jednotlivých periférií na multifunkční kartě, ovládání jednotlivých řídicích výstupů a konfigurace aplikace). Vstup do tohoto režimu je chráněn heslem, aby se sem neoprávněná obsluha servisní linky nedostala.

Servisní režim sestává z následujících elementárních úloh (názvy úloh jsou převzaty z obrázku 13):

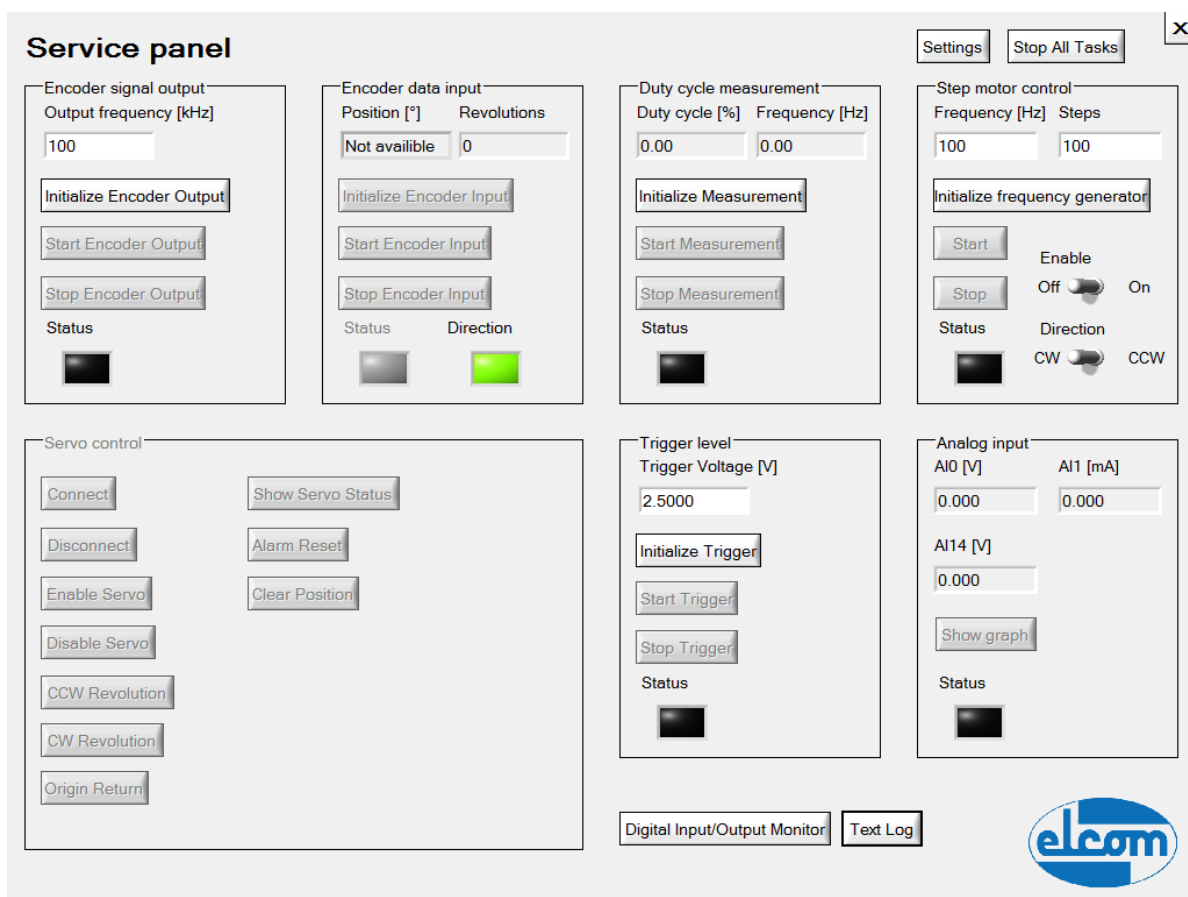
- Encoder signal output – generování hodinového signálu pro referenční snímač natočení v TTL logice, výstupní signál má průběh jako hodinový signál na obrázku 5.
- Encoder data input – synchronně, s každou sestupnou hranou hodinového signálu, přečte bitovou informaci z referenčního snímače natočení a uloží si ji do vnitřního bufferu na kartě. Ve chvíli, kdy karta přečte definovaný počet bitových informací, přesune je z vnitřního bufferu do paměti počítače a vyvolá událost. Reakcí na tuto událost je aktualizace informace o aktuálním natočení.
- Duty cycle measurement – Vlastní měření výstupního signálu testovaného čidla. S každou periodou signálu je vyvolána událost, reakcí na tuto událost je aktualizace informace o aktuální hodnotě výstupního signálu.
- Step motor control – Na výstupu čítače/časovače karty vygeneruje definovaný počet period obdélníkového signálu v TTL logice s definovanou frekvencí. Navíc obsahuje ovládání vstupů výkonového stupně motoru.
- Servo control – Slouží k interakci s kontrolérem servo motoru. Obsahuje pouze základní operace se soustavou servo motoru. Pro komplexní odladění a identifikaci problému se soustavou servo motoru slouží aplikace od výrobce soustavy motoru.
- Trigger level – Nastavuje rozhodovací úroveň HW komparátoru generováním výstupního napětí na analogovém výstupu.
- Analog input – Slouží k měření elektrických veličin testovaného senzoru.
- Digital Input/Output Monitor – Otevře panel jako na obrázku 14, umožňující ovládání jednotlivých akčních členů zařízení a kontrolu vstupních signálů.

Jednotlivé úlohy se ovládají ve třech krocích:

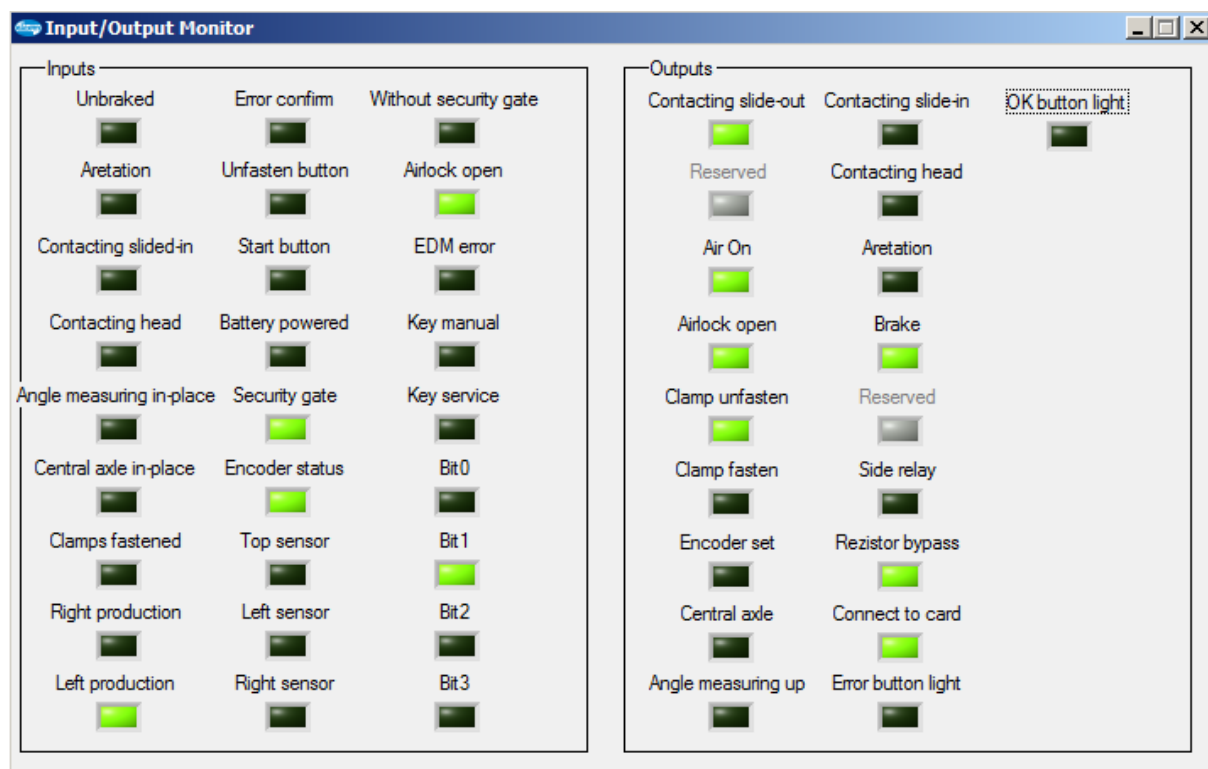
- inicializace,
- spuštění,
- ukončení.

V případě problému je možné úlohy spouštět postupně a v různých kombinacích, případně samostatně k určení problému.

Servisní režim již byl několikrát použit k úspěšné identifikaci a vyřešení problému.



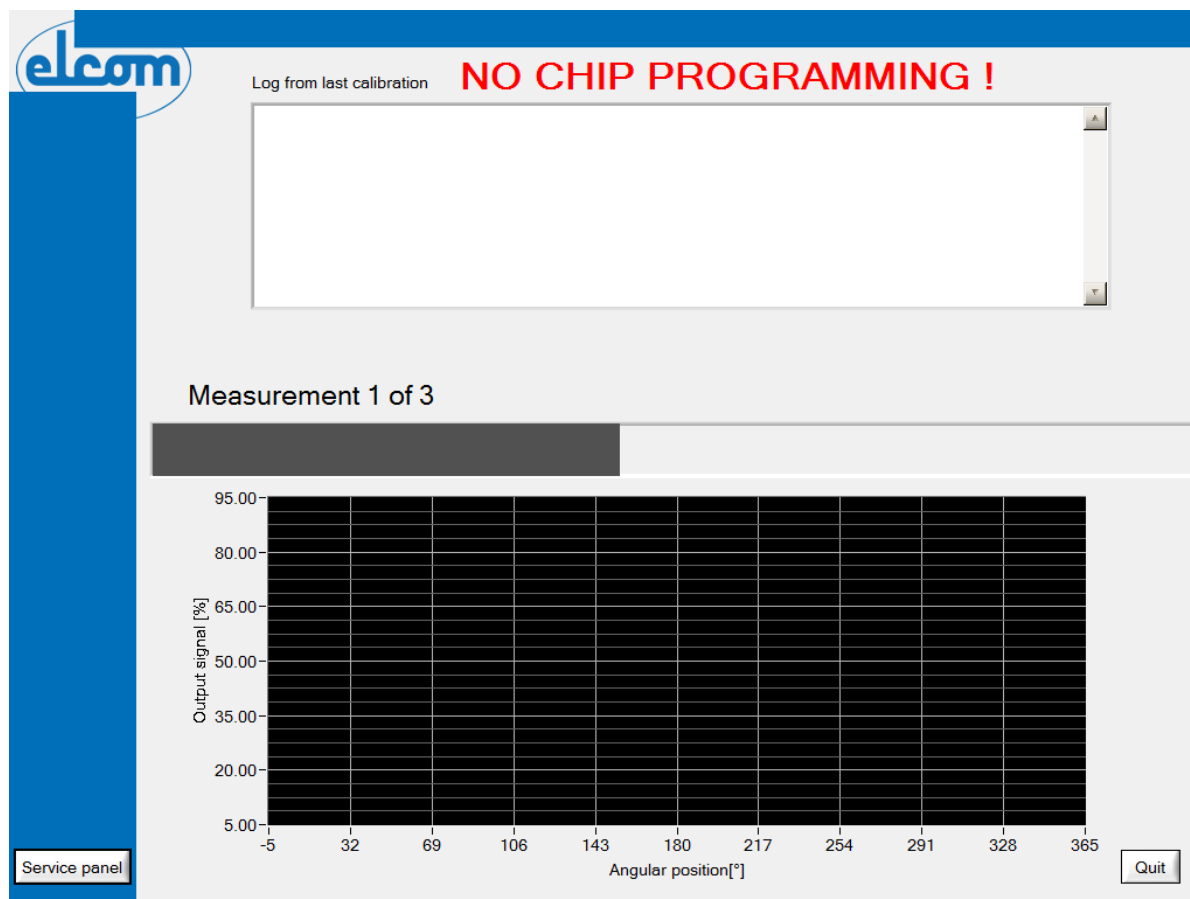
Obrázek 13: Panel servisní části aplikace



Obrázek 14: Panel se signály pro řízení zařízení

### 3.5.1.2 AUTOMATICKÝ REŽIM

Automatický režim je vrstvou nad servisním režimem, využívá jeho jednotlivých úkonů a seskupuje je do jednotného a funkčního celku s požadovaným výstupem. Před operátorem výrobní linky jsou skryté možnosti nastavení zařízení. Uživatelské rozhraní tohoto režimu jsem se snažil udělat co nejjednodušší a nejpřehlednější, jak ukazuje obrázek 15.



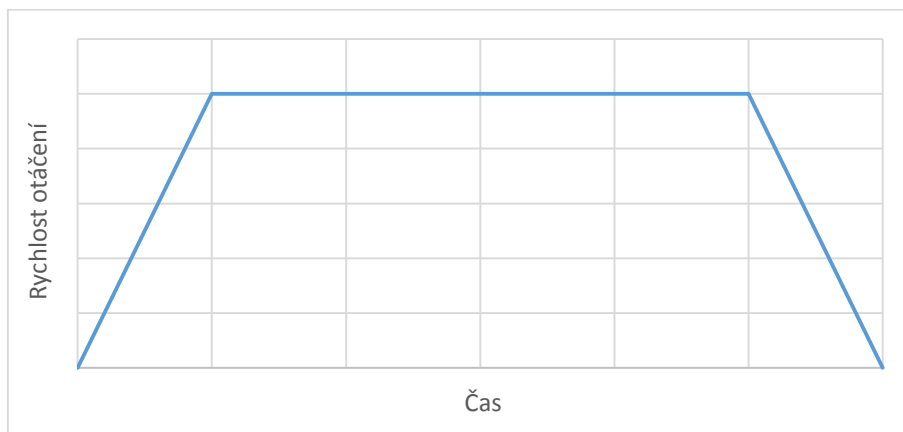
Obrázek 15: Provozní panel aplikace

Panel má pouze 2 tlačítka a to pro vstup do servisního režimu a pro ukončení aplikace. Obsluha zařízení a aplikace v automatickém režimu probíhá v zásadě pouze přes operátorská tlačítka přímo na zařízení.

Obrázek 15: Nápis „NO CHIP PROGRAMMING !“ upozorňuje obsluhu, že i pokud senzor projde celou rutinou kalibrace, nebude do něj zapsán tzv. „LOCK“ bit, tím pádem senzor nebude plně naprogramován a nesmí ve výrobním procesu pokračovat dále. Toto se používá výhradně pro testovací účely, při normální výrobě není žádný nápis zobrazen. Pod tímto nápisem je textové pole, do kterého je vždy po dokončení kalibračního procesu vypsán záznam z posledního kalibračního procesu. Níže je indikátor průběhu, který ukazuje přibližný průběh procesu se základním popisem toho, ve které fázi je momentálně kalibrační proces. Jako poslední je zde graf, ve kterém je zobrazena křivka výstupního signálu senzoru.

### 3.5.2 PROCES KALIBRACE A NÁMĚRŮ

Po provedení všech úkonů před vlastní kalibrací se testovaný senzor vytočí na minimální výchylku, následně je zahájeno měření, při kterém se senzor konstantní úhlovou rychlostí vytočí na maximální výchylku. Během pohybu senzoru jsou zaznamenávány jednotlivé vzorky dat. Po dokončení pohybu senzoru je měření a záznam dat ukončen a data jsou následně ořezána o 5° z každé strany. Důvodem je rozjezdová, resp. dojezdová rampa a hystereze pohybující se soustavy (hnací pohon, měřený senzor, referenční senzor a mechanické části spojující jednotlivé prvky soustavy), jak ukazuje obrázek 16.



Obrázek 16: Závislost rychlosti otáčení motoru na čase

Celý náměr probíhá od  $-5^\circ$  do  $365^\circ$ , to při rychlosti  $\omega = \frac{\pi}{2} \cdot \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$  a při přesuny mezi pozicemi, kdy se neměří, je rychlost  $\omega = \pi \cdot \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ . Takto naměřená data jsou poté poslána do procesní jednotky, která je dále zanalyzuje a upraví výslednou výstupní křivku senzoru.

### 3.5.3 KOMUNIKACE S PROCESNÍ JEDNOTKOU

Procesní jednotka určená k programování čipů senzoru je zákaznickým řešením výrobce čipu použitého v měřeném senzoru a jako taková byla dodána společně s manuálem a DLL knihovnou pro komunikaci, zasilání a získávání dat z čipu. S počítačem byla propojená prostřednictvím ethernetového rozhraní a komunikace probíhala přes TCP/IP protokol.

### 3.5.4 VÝPOČET CHYBOVÝCH PARAMETRŮ

Po třetím náměru, před zapsáním „LOCK“ bitu se z tohoto náměru počítají chybové parametry a to tři různé typy:

#### 3.5.4.1 ABSOLUTNÍ CHYBA

Je chybou vůči ideální křivce signálu definovaného: 5% střídy výstupního signálu pro  $0^\circ$  úhlového natočení a 95% střídy výstupního signálu pro  $360^\circ$  úhlového natočení. Z této definice signálu lehce získáme polynom funkce definující ideální signál.

Máme definovány dva body:

$$A = [0 ; 5], B = [360 ; 95]$$

Dosazením těchto bodů do obecné rovnice přímky  $y = k \cdot x + q$  získáme soustavu rovnic o dvou neznámých:

$$5 = q$$

$$95 = 360 \cdot k + q$$

Vypočtením této soustavy rovnic získáme výslednou rovnici ideálního signálu:

$$y = 0.25 \cdot x + 5$$

Nyní pro každou zaznamenanou periodu signálu vezmeme její úhlové natočení a dosadíme do rovnice ideálního signálu, vypočtenou hodnotu poté odečteme od právě té naměřené hodnoty signálu.

Chybu v bodě  $x$  tedy vypočteme:

$$Abs\_err(x) = S(x) - (0.25 \cdot x + 5)$$

$Abs\_err(x)$       absolutní chyba v bodě  $x$

$S(x)$               naměřená hodnota signálu v bodě  $x$

Tímto způsobem se spočítá chyba pro všechny vzorky signálu a úhlového natočení a zákazník požadoval nalezení pouze minimální a maximální hodnoty chyby.

#### 3.5.4.2 NEZÁVISLÁ LINEARITA

Principiálně úplně stejný postup jako u absolutní chyby, s tím rozdílem, že se chyba nepočítala z rozdílu od ideálního teoretického signálu, ale od rovnice přímky proložené množinou naměřených hodnot signálu a natočení. Tato přímka se získává metodou zvanou lineární regrese. Pro získání koeficientů  $k$  a  $q$  bylo využito funkce distribuované s vývojovým prostředím CVI™.

Prototyp funkce [9]:

```
AnalysisLibErrType LinFit(double Array_X[], double Array_Y[], ssize_t Number_of_Elements, double
Output_Array[], double *Slope, double *Intercept, double *Mean_Squared_Error);
```

Důležité parametry jsou: „Slope“, což je námi hledané  $k$  a „Intercept“, což je  $q$ . Oba parametry jsou předávány referencí.

#### 3.5.4.3 MIKROLINEARITA

Velmi podobná nezávislé linearitě, s tím rozdílem, že se lineární regrese nepočítá výsledná funkce přímky nad celou množinou dat najednou, ale data jsou rozdělena na 100 stejných dílů. Nad každým dílem zvlášť je spočítána lineární regrese a následně nezávislá linearita pro tento díl dat.



### **3.5.5 LOG SOUBORY**

Aplikace z každého provedeného výrobního cyklu vytvoří záznam ve formě log souboru ve formátu \*.txt, který obsahuje sériové číslo testovaného senzoru, jeho přesnou frekvenci a přečtená předprogramovaná data výrobcem.

Následují všechny naměřené vzorky signálu a natočení získané během všech náměrů, elektrické parametry senzoru, minimální a maximální hodnoty vypočtených chybových parametrů a nakonec výsledek celého procesu s aktuálním datem a časem.

Tyto log soubory sloužily, společně se servisním režimem, použity k případné identifikaci vzniklých potíží při procesu testování a kalibrace senzoru.

## **4 ODBORNÉ ZNALOSTI NABYTÉ STUDIEM**

### **4.1 VYUŽITÉ ODBORNÉ ZNALOSTI**

Znalosti nabyté v průběhu studia jsem hojně využíval při práci na tomto projektu i na dalších projektech, na kterých jsem se měl možnost podílet ve firmě ELCOM, a.s. Jako velmi potřebná se ukázala znalost anglického jazyka. Tato potřeba vychází ze skutečnosti, že programovací prostředí, dokumentace od zařízení a periférií jsou v anglickém jazyce. Stejně tak jsem anglický jazyk využil i při předávání zařízení a zaškolování zákazníka.

Stejně důležitá byla i znalost algoritmů a programovacího jazyka C, ve kterém byl celý systém vyvíjen. Jako velmi přínosné bych hodnotil i znalost programování mikropočítačů, jelikož periférie mikropočítače jsou velmi podobné multifunkčním kartám od NI.

Velkým přínosem pro mě byla i základní znalost elektrotechniky, elektro konstrukce a elektrických měření. Byl jsem se tak sám schopen orientovat ve výkresech zapojení zařízení, popř. jen s drobnou asistencí kolegů. Pomocí digitálního multimetru, resp. osciloskopu jsem mohl zase hledat případné potíže a chyby na zařízení.

### **4.2 SCHÁZEJÍCÍ ODBORNÉ ZNALOSTI**

Jako nejvíce chybějící znalost bych za sebe hodnotil neznalost práce na takto velkém projektu s rozsahem práce skoro půl roku. Díky tomu se mi párkrát stalo, že jsem se v kódu vracel až úplně na začátek a musel jsem ho, ať už částečně či úplně, změnit.

Také jsem se do té doby nesetkal s tak rozličnými technickými prostředky, ať už v podobě multifunkční karty, komunikaci po RS-232/485 standardu, nebo po ethernetu. Naštěstí jsem se ale vždy dobral zdárného výsledku, ať již s pomocí kolegů, nebo internetu.

## 5 ZHODNOCENÍ PRAXE A ZÁVĚR

Osobně hodnotím přínos této praxe pro mne jako velmi cenný. Vyzkoušel jsem si práci s týmem lidí podílejícím se na velkém projektu a to i přesto, že jsem byl nováčkem jako vývojář software. Komunikace mezi jednotlivými odděleními byla stejně důležitá, jako by byla komunikace s kolegou se stejným zaměřením. Také jsem si vyzkoušel komunikaci se zákazníkem a to jak v českém jazyce s českou pobočkou zákaznickovy firmy, tak anglicky u zákazníka v zahraničním výrobním závodě, kde proběhlo předání zařízení.

Dostal jsem se k mnoha zajímavým technologiím, nejen využitých na tomto projektu, ale i u kolegů a jejich zařízení jsem často obdivoval dostupné technické prostředky.

S firmou ELCOM, a.s. i nadále spolupracuji na dalších zajímavých projektech a kombinuji znalosti získané studiem ve škole, konzultacemi s kolegy, samostudiem a samotnou prací na projektech. Této příležitosti si nesmírně cením, protože odborná praxe je dnes na trhu práce velmi důležitá. Celkově bych firmu ELCOM, a.s. zhodnotil jako velmi přátelskou, přívětivou a hlavně tolerantní vůči mému studiu.

Závěrem bych rád poděkoval firmě ELCOM, a.s., resp. řediteli divize, kterým je Doc. Ing. Daniel Kaminský, CSc. za umožnění této zkušenosti a možnosti podílet se na projektu takové úrovně a všem spolupracovníkům, kteří se na tomto projektu podíleli.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Bezkontaktní indukční senzor polohy.....	3
Obrázek 2: Pohled na výsledné zařízení.....	3
Obrázek 3: Blokové schéma zařízení .....	4
Obrázek 4: Multifunkční karta NI PCIe-6351 .....	6
Obrázek 5: Jeden datový paket z SSI enkodéru v TTL logice .....	7
Obrázek 6: Fastech EZi Servo .....	8
Obrázek 7: Microcon SD20x.....	8
Obrázek 8: Cognex DataMan® 8500 .....	9
Obrázek 9: Příklad výstupního signálu po prvním náměru .....	10
Obrázek 10: Příklad výstupního signálu po druhém náměru .....	11
Obrázek 11: Příklad výstupního signálu po třetím náměru a zároveň optimální výstupní signál .....	11
Obrázek 12: Vývojové prostředí LabWindows™/CVI™ .....	12
Obrázek 13: Panel servisní části aplikace .....	14
Obrázek 14: Panel se signály pro řízení zařízení.....	14
Obrázek 15: Provozní panel aplikace .....	15
Obrázek 16: Závislost rychlosti otáčení motoru na čase .....	16

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] ELCOM, a.s. *O Společnosti* [online]. c2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.elcom.cz/cz/spolecnost/o-spolecnosti>>.
- [2] ELCOM, a.s. *Divize* [online]. c2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.elcom.cz/cz/spolecnost/divize>>
- [3] ELVAC a.s. *PPC-5150A-R11/9455-E2160/4520C/T-R/IGB* [online]. c2012 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.elvac.eu/Default.aspx?tabid=701&Display=ProductDetailView&TreeType=ProdPro&ProductId=49432&Language=cs-CZ>>
- [4] National Instruments. *NI PCIe-6351* [online]. c2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/207409>>
- [5] National Instruments. *NI PCIe-6353* [online]. c2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z WWW: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/207410>>
- [6] Fritz Kübler GmbH. *Absolute Encoders – Multiturn* [online]. 01/2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z WWW: <[http://www.kuebler.com/PDFs/leaflet/drehgeber/english/F3663-F3683\\_en.pdf](http://www.kuebler.com/PDFs/leaflet/drehgeber/english/F3663-F3683_en.pdf)>
- [7] Fastech. *Ezi-SERVO®* [online]. Jan 10, 2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.fastech.co.kr/bbs/eng/download.php?type=catalog&uid=12>>
- [8] Microcon. *Výkonové stupně* [online]. 2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.microcon.cz/pdf2014/08-10.pdf>>
- [9] National Instruments. *LinFit – NI LabWindows™/CVI™ 2010 Help* [online]. October 2010 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370051T-01/cvi/libref/cvilinearfit/>>